



## Самоорганизующиеся транспортные сети в геофизике: структурная асимметрия

д.ф.-м.н. **Дмитрий Игоревич Иудин**

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН,  
Приволжский исследовательский медицинский университет, Н. Новгород*

В окружающей нас природе широкое распространение имеют разнообразные ветвящиеся структуры: речные сети, кровеносные и дыхательные системы животных, кроны и корни деревьев и т.д. Основное функциональное назначение этих самоорганизующихся структур состоит в сборе, распределении и транспорте некоторого ресурса. Например, разряд молнии переносит электрические заряды и представляет собой морфологически развитую сеть плазменных каналов положительных и отрицательных лидеров, которая эволюционирует в квазиэлектростатическом поле грозового облака, поддерживается этим полем и изменяет его рельеф. Как транспортная система молния имеет много общего с речной сетью: и реки, и молнии представляют собой транспортные потоки, самоорганизующиеся в потенциальном поле и демонстрирующие структурный «гомеостаз». Более того, морфологические и функциональные свойства этих транспортных систем принципиально связаны с нарушением их структурной симметрии при изменении направления потока транспортируемого ресурса на противоположное. Так, молниевые разряды на землю отрицательной полярности чаще всего состоят из серии ударов (до нескольких десятков), проходящих по одному каналу, а положительные разряды на землю, как правило, ограничиваются однократным ударом. Положительные лидеры молнии практически невидимы в высокочастотном диапазоне. Напротив, распространение отрицательного лидера сопровождается обильным радиоизлучением в полосе частот 30–300 МГц, обеспечивающим возможность дистанционного картирования молниевых разрядов с высоким пространственно-временным разрешением. Для речных сетей структурная асимметрия «лежит на поверхности». В верхнем течении речной сети, где доминирует эрозия, притоки сливаются с основным руслом, а вот раздвоение русла наблюдается крайне редко. Напротив, в дельте реки, где доминируют процессы седиментации, гравитационный потенциал точек ветвления повышается и русло реки эффективно разделяется на рукава. В лекции по аналогии с используемой для речных сетей иерархической схемой Хортон–Штролера анализируется асимметрия пространственного распределения ёмкости полярных лидерных систем и изложены основные положения концепции движения нейтральной точки – точки реверса, в которой происходит инверсия знака погонного заряда чехла лидера молнии. Показано, что скорость смещения точки реверса, а вместе с ней и среднезвешенного потенциала молнии, определяется разностью периферийных токов разряда. Движение точки реверса в направлении доминирующего лидера, т.е. лидера с превалирующим периферийным током, сопровождается перезарядкой чехла лидера, приводит к изменению среднезвешенного потенциала

молнии и служит ключом к объяснению макромасштабных проявлений асимметрии разряда молнии. При этом погонный заряд высокопроводящей сердцевины лидерного канала оказывается управляющим параметром процесса перезарядки чехла. Представляя молнию как активную мультстабильную систему, в которой высокопроводящий плазменный шнур лидерного канала обменивается зарядом с его чехлом, предложенный подход приоткрывает завесу тайны смерти и последующей реинкарнации боковых ветвей лидерной системы молниевое разряда.

Лекция подготовлена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-11-00245).

#### Дополнительная литература

1. Иудин Д.И., Давыденко С.С., Готлиб В.М., Долгоносков М.С., Зелёный Л.М. Физика молнии: новые подходы к моделированию и перспективы спутниковых наблюдений // УФН. 2018. Т. 188, с. 850–864, doi:10.3367/UFNr.2017.04.038221
2. Iudin D.I., Rakov V.A., Syssoev A.A., Bulatov A.A., Hayakawa M. Formation of decimeter-scale, long-lived elevated ionic conductivity regions in thunderclouds // NPJ Clim. Atmos. Sci. 2019. V. 2, No. 46, doi:10.1038/s41612-019-0102-8
3. Syssoev A.A., Iudin D.I., Bulatov A.A., Rakov V.A. Numerical simulation of stepping and branching processes in negative lightning leaders // J. Geophys. Res. Atmos. 2020. V. 125, № 7. P. e2019JD031360, doi:10.1029/2019JD031360
4. Iudin D.I. Lightning as an asymmetric branching network // Atmos. Res. 2021. Vol. 256, P. 105560, doi:10.1016/j.atmosres.2021.105560
5. Сысоев А.А., Иудин Д.И. Феноменология атмосферного электричества // Земля и Вселенная. 2021. № 1, С. 46-58, doi:10.7868/S0044394821010035
6. Сысоев А.А., Иудин Д.И. Феноменология атмосферного электричества (окончание). Глоссарий // Земля и Вселенная. 2021. № 2, С. 30-58, doi:10.7868/S0044394821020031
7. Iudin D.I., Rakov V.A., Syssoev A.A., Bulatov A.A., Hayakawa M. From decimeter-scale elevated ionic conductivity regions in the cloud to lightning initiation // Sci. Rep. 2021. Vol. 11, Article number: 18016, doi:10.1038/s41598-021-97321-4.
8. Иудин Д.И., Сысоев А.А., Раков В.А. Проблемы инициации и развития молнии // Изв. ВУЗов Радиофизика. 2021. Т. 64, № 11, С. 867–894, doi:10.1007/s11141-022-10178-z.
9. Iudin D.I., Syssoev A.A. Hot plasma channel network formation in thunderclouds // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2022. Vol. 240, Art. no. 105944, doi: 10.1016/j.jastp.2022.105944.
10. Syssoev A.A., Iudin D.I. Numerical simulation of electric field distribution inside streamer zones of positive and negative lightning leaders // Atmos. Res. 2023. Vol. 295, P. 107021, doi:10.1016/j.atmosres.2023.107021.